



UNIVERSIDAD DE
COSTA RICA



LABORATORIO NACIONAL
DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES

Programa de Infraestructura del Transporte (PITRA)

Informe: LM-PI-USVT-009-16

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

**PARAMETROS DE TRÁNSITO PARA DISEÑO DE
PAVIMENTOS EN LA RED VIAL NACIONAL
PRIMARIA DE COSTA RICA. CÓDIGO 321-B5-A41.**

II Informe de Avance

Preparado por:

Programa de Infraestructura del Transporte

San José, Costa Rica
Noviembre, 2016

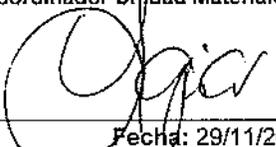
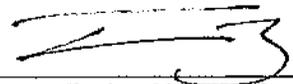
1. Informe LM-PI-USVT-009-16		2. Copia No. 1
3. Título y subtítulo: Parámetros de tránsito para diseño de pavimentos en la Red Vial Nacional Primaria de Costa Rica. Código 321-B5-A41. II Informe de Avance.		4. Fecha del Informe 29 de noviembre, 2016
7. Organización y dirección Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales Universidad de Costa Rica, Ciudad Universitaria Rodrigo Facio, San Pedro de Montes de Oca, Costa Rica Tel: (506) 2511-2500 / Fax: (506) 2511-4440		
8. Notas complementarias Proyecto inscrito con el código 321-B5-A41 en la Vicerrectoría de Investigación, según oficio VI-4800-2015.		
9. Resumen Con el Proyecto de Investigación se busca la determinación de los parámetros de carga más representativos para el adecuado diseño estructural de los pavimentos en Costa Rica. La información recopilada servirá como insumo a la Guía de Diseño Estructural de Pavimentos de nuestro país. Específicamente, el objetivo general del proyecto es determinar y cuantificar las propiedades de los principales parámetros de carga para el diseño estructural de pavimentos que actualmente imperan sobre el comportamiento de las rutas nacionales primarias en Costa Rica, que servirán como insumo para la modelación de su efecto en el desempeño de las estructuras de pavimentos y así mejorar las labores de diseño, construcción, reconstrucción y mantenimiento de carreteras. En el presente informe se hará un resumen de los avances en cada parámetro (carga, presión de inflado, desviación lateral de llanta y tránsito vehicular) incluido en el proyecto después de lo presentado en el informe de avance. Finalmente, se incluyen las actividades de divulgación realizadas.		
10. Palabras clave CARGA, PRESIÓN, DESVIACIÓN LATERAL, TRANSITO VEHICULAR, VELOCIDAD, PAVIMENTOS, DISEÑO ESTRUCTURAL DE PAVIMENTOS, MODELACIÓN	11. Nivel de seguridad: Ninguno	12. Núm. de páginas 20
13. Preparado por: Ing. Henry Hernández, MSc Investigador- Unidad de Seguridad Vial y Transporte/PITRA  Fecha: 29/11/2016		
14. Revisado por: Ing. Diana Jiménez Romero, MSc., MBA Coordinadora Unidad Seguridad Vial y Transporte  Fecha: 29/11/2016	Ing. José Pablo Aguiar Moya, PhD Coordinador Unidad Materiales y Pavimentos  Fecha: 29/11/2016	15. Aprobado por: Ing. Guillermo Loría Salazar, PhD Coordinador Programa Infraestructura del Transporte (PITRA-LanammeUCR)  Fecha: 29/11/2016



TABLA DE CONTENIDO

1. DESCRIPCIÓN	4
2. OBJETIVO GENERAL.....	4
3. ANTECEDENTES	4
4. ESQUEMA CONCEPTUAL	5
5. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....	7
<i>IMPORTANCIA PRÁCTICA.....</i>	<i>7</i>
<i>VALOR TEÓRICO Y UTILIDAD METODOLÓGICA.....</i>	<i>7</i>
6. AVANCE NOVIEMBRE 2016.....	7
6.1. CARGA.....	7
6.2. PRESIÓN DE INFLADO	9
6.3. DESVIACIÓN LATERAL DE LA LLANTA.....	9
6.4. TRÁNSITO VEHICULAR	10
6.5. DIVULGACIÓN.....	19
7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	20



1. DESCRIPCIÓN

El Proyecto de Investigación de los Parámetros de Carga surge de la necesidad de un adecuado diseño de pavimentos en el país. Para que esto se dé "es importante caracterizar las cargas de tránsito, los materiales y su variación en el entorno geológico y climático; y definir los criterios de falla acorde con la realidad en cada caso: país, región o macro-región" (Allen, 2013).

En este informe se sintetizan los aspectos generales y avances del proyecto de investigación durante el 2016, en el cual se recopila y analiza información de campo sobre cada uno de los cuatro principales parámetros a tomar en cuenta en el diseño de las carreteras: la carga, la presión de inflado, la desviación lateral y el tránsito vehicular, recopilados por el Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales (LanammeUCR), o contenidos en proyectos finales de graduación de estudiantes de la Universidad de Costa Rica.

2. OBJETIVO GENERAL

Determinar y cuantificar las propiedades de los principales parámetros de carga requeridos en el diseño estructural de pavimentos que actualmente imperan sobre el comportamiento de las rutas nacionales primarias en Costa Rica, que servirán como insumo para la modelación de su efecto en el desempeño de las estructuras de pavimentos y así mejorar las labores de diseño, construcción, reconstrucción y mantenimiento de carreteras.

3. ANTECEDENTES

En el año 2004, la Unidad de Investigación del Programa de Infraestructura del Transporte (PITRA) del LanammeUCR, inició una revisión y análisis de la Guía de Diseño Mecanicista - Empírico 2002 de Estados Unidos. Actualmente, se está en proceso de desarrollar una guía calibrada para las condiciones nacionales.

Para esto, la Guía de Diseño Mecanicista - Empírico requiere insumos relacionados con el suelo, materiales, clima, tráfico y estructura de pavimento. En el PITRA-LanammeUCR se han estado implementando proyectos relacionados con las variables más importantes de dicha guía, incluyendo los siguientes temas: zonificación climática, uso de materiales no tradicionales, uso de granulometrías discontinuas, desempeño en deformación permanente, fatiga, resistencia al daño por humedad, módulo resiliente y curva maestra en mezclas asfálticas, variación estacional de módulos, módulos resilientes y deformación permanente sobre materiales cohesivos, granulares y estabilizados y la caracterización de pesos por tipo

Informe LM-PI-USVT-003-15	Fecha de emisión: 29 de noviembre de 2016	Página 4 de 20
---------------------------	---	----------------

de vehículo mediante la encuesta de carga. En los últimos años las necesidades a las que deben responder los pavimentos han acrecentado su severidad en cuanto a cargas, velocidades y condiciones climáticas.

Además, Allen (2013) indica que el LanammeUCR utilizó los datos de estaciones de pesaje con el objetivo de generar parámetros de carga para el diseño de pavimentos. Adicionalmente se definieron espectros de carga por tipo de eje y tipo de vehículo, con lo que fue posible obtener los espectros de carga para las principales carreteras del país. En la Figura 1 presenta un ejemplo de la información generada gráficamente a partir del proceso de análisis de los datos recopilados.

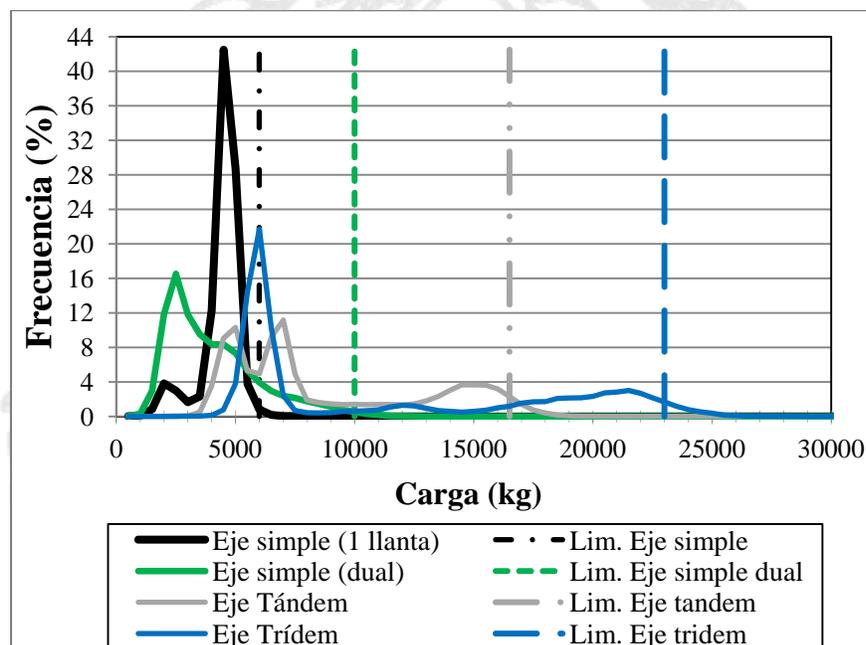


Figura 1. Espectro de Carga. Fuente: Allen y Badilla, 2011

De esta y otras investigaciones que se realizan actualmente en la Unidad de Materiales y Pavimentos-PITRA, surge la necesidad de formular una Línea de Investigación macro sobre el tema Parámetros de Carga de modo que sirva de insumo a la futura Guía de Diseño Estructural de Pavimentos para Costa Rica (Allen, 2013).

4. ESQUEMA CONCEPTUAL

En la siguiente figura se muestran los principales factores de carga que afectan el desempeño estructural de un pavimento en los que se basa la propuesta de investigación.

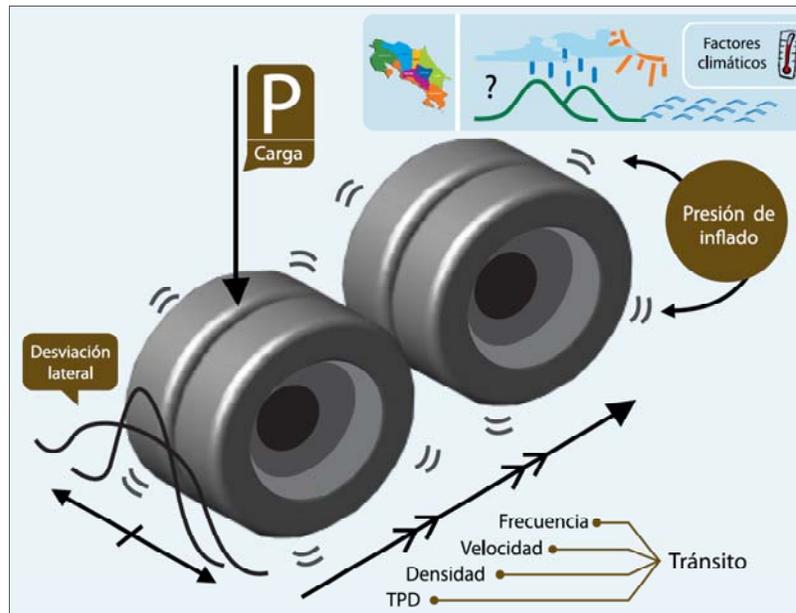


Figura 2. Esquema Conceptual. Fuente: Parámetros de Carga, LanammeUCR, 2012

Según explica Allen (2013) la Carga (P) se entiende como la magnitud de carga, la desviación lateral de la llanta se refiere a la distribución estadística de la posición lateral del eje central de cada pasada de llanta en un carril específico, la presión de inflado indica el estado de inflado de las llantas. Mientras que los parámetros de tránsito (frecuencia, velocidad, densidad y tránsito promedio diario o TPD) establecen la cantidad de vehículos de diseño así como la velocidad o frecuencia de la carga.

Para modelar las cargas correctamente es necesario conocer la frecuencia, velocidad, volumen y clasificación vehicular de la flotilla en cada proyecto; ya que es preciso identificar la cantidad de vehículos de cada tipo que están transitando diariamente, pues en general sólo los vehículos más pesados son de interés para el diseño de pavimentos (el daño generado por los vehículos livianos es marginal). La velocidad del tráfico y la presión de inflado de las llantas de los mismos también es importante conocerla, pues los materiales que componen los paquetes estructurales pueden tener un comportamiento visco-elástico y por tanto sus propiedades dependen de la velocidad, frecuencia y temperatura a que fueron aplicadas las cargas a las que están sujetos. Por esto, es necesario determinar perfiles de velocidad para los vehículos de diseño.

5. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

Importancia práctica.

Allen (2013) explica que la macro-investigación brindará información relativa a parámetros de carga y a su modelación para incorporarse a la Guía de Diseño Estructural de Pavimentos para Costa Rica, la cual resulta sumamente necesaria, dado que el país no cuenta con una guía calibrada y debe diseñarse con guías extranjeras, provocando que en muchas ocasiones se dé un mal cálculo de espesores y por lo tanto desperdicio de recursos.

Valor teórico y utilidad metodológica.

La propuesta de investigación busca a su vez desarrollar conocimiento y experiencia en temas como:

- Diseño de experimentos de recopilación de parámetros de carga in situ.
- Análisis estadístico y desarrollo de distribuciones estadísticas de los parámetros tránsito.
- Modelación estructural avanzada en software de elemento finito.
- Calibración de modelos de deterioro con ensayos a escala natural.

6. AVANCE NOVIEMBRE 2016

De acuerdo con Allen (2013) "a la fecha, se han identificado cuatro parámetros principales: carga, presión de inflado, desviación lateral de llanta y tránsito vehicular." En el presente informe se hará un resumen de los avances en cada parámetro incluido en el proyecto después de lo presentado en el I informe de avance (Hernandez-Vega, Jimenez-Romero, Aguiar-Moya, & Loría-Salazar, 2016). Finalmente, se incluyen las actividades de divulgación realizadas.

6.1. Carga

Con respecto a las bases de datos de las estaciones de pesaje suministrados por el Consejo Nacional de Vialidad, ya se analizaron los archivos recibidos y se evidenciaron algunos detalles (repeticiones de datos y archivos) por lo que se tuvo que solicitarlos nuevamente; entonces ya ahora con todos los datos completos hasta el año 2016, se podría comenzar el análisis individual por estación. Actualmente, se está elaborando un cuadro resumen que

indique la información disponible por estación, meses, y fuente (pues de acuerdo con la fuente varía el formato y el tipo de datos).

Actualmente, se están estudiando los pesos, a través de pesajes móviles (ver Figura 3), en rutas no reguladas por estaciones de pesaje en diferentes puntos del país.



Figura 3. Pesaje de vehículo en Ruta Nacional N°1.

Fotografía: Hernández, 2016.

El estudio forma parte del trabajo final de graduación titulado "Encuesta de carga en rutas nacionales no reguladas por estaciones de pesaje" en la cual se encuentra trabajando el estudiante de ingeniería civil Jorge Luis Arrieta Rojas (Arrieta, 2015).

El estudio permitirá estimar las características de las cargas que transportan los camiones por ruta, por tipo de camión y por tipo de mercancía. Al comparar estos resultados con los de las estaciones de pesaje se podría estimar si existen diferencias en los espectros de carga y en el porcentaje de vehículos que exceden el peso permitido tanto por ruta como por dirección.



Los tipos de vehículos que se están analizando se dividen de acuerdo al número de ejes. Los tipos C2, C3, T3-S2 y T3-S3, los cuales son los más comunes para las rutas nacionales son los que están bajo estudio actualmente. Además, los espectros de carga se dividirán por zona de estudio analizada para poder realizar una comparación entre ellas. Se espera que el trabajo final de graduación finalice en el 2017.

6.2. Presión de inflado

Actualmente el LanammeUCR se encuentra apoyando el trabajo final de graduación del estudiante de ingeniería civil Daniel Clark Araya. El trabajo tiene como título *Análisis de la influencia de la presión de inflado en el desempeño de los pavimentos flexibles en Costa Rica*. El trabajo tiene como objetivo " Analizar la influencia de la presión de inflado de los neumáticos en el desempeño mecánico de pavimentos flexibles típicos costarricenses mediante la metodología del elemento finito."

El estudio analizará el efecto de las presiones de inflado para predecir las respuestas en la interfaz pavimento-neumático y recopila información de los valores típicos de la presión de inflado en Costa Rica y los datos generados en el simulador de vehículos pesados (HVS, por sus siglas en inglés) del LanammeUCR, estos datos servirán como insumo en el proceso de modelación con elemento finito.

El proyecto utiliza como base la revisión bibliográfica realizada por el LanammeUCR (Allen & Sibaja, 2014) y el trabajo final de Sibaja (2014) que fue mencionado en el informe anterior.

6.3. Desviación Lateral de la Llanta

El trabajo final de graduación, desarrollado por Velvet Morris Mitchel denominado "Determinación del desplazamiento lateral de vehículos en carreteras urbanas de Costa Rica, cuyos resultados se presentaron en el primer informe de avance, se finalizó exitosamente en el mes de Enero del 2016 (Morris, 2016).

Las conclusiones de este trabajo se muestran a continuación (Morris, 2016):

Informe LM-PI-USVT-003-15	Fecha de emisión: 29 de noviembre de 2016	Página 9 de 20
---------------------------	---	----------------



- "El desplazamiento lateral de vehículos pesados promedio para carreteras del Gran Área Metropolitana de Costa Rica es 29,05 cm. El desplazamiento lateral en 4 de las 6 rutas nacionales se ubica en un rango entre 24 y 35 cm. La incertidumbre de la medición es $\pm 6,25$ cm.
- Entre menor sea el desplazamiento lateral en una carretera mayor es el deterioro producido en el pavimento por agrietamiento tipo piel de cocodrilo, deformación permanente y rugosidad.
- Los valores determinados de desplazamiento lateral y los intervalos de confianza en este informe son mayores al utilizado por el LanammeUCR de 10 cm en los ensayos de simulador de vehículos pesados. Lo cual significa que los daños por agrietamiento y la deformación permanente son mayores en los ensayos del simulador de vehículos pesados que en las carreteras nacionales.
- El desplazamiento lateral no se ve afectado significativamente por el tipo de vehículo ni el tipo de eje, el rango de valores promedio determinados en este informe se encuentra entre 28,11 a 31,56 cm. En este rango no se consideró el eje trídem por la falta de muestras.
- La ubicación promedio del centro del neumático respecto al margen, tanto para vehículos livianos como para pesados, es de aproximadamente 100 cm (1 m) para los carriles de ancho cercano a 3,6 m. La cual es la posición del neumático cuando el vehículo transita por el centro del carril.
- En la mayoría de los casos, los datos de ubicación en el carril no se ajustan a ninguna de las distribuciones probadas. Sin embargo, en algunas ocasiones como la Ruta Nacional 202 los datos siguen la distribución normal" (p. 103-104).

6.4. Tránsito Vehicular

Durante el mes de abril del año en curso, se remitió el informe LM-PI-USVT-002-16 Análisis descriptivo de patrones de velocidad a partir de datos de estaciones permanentes de monitoreo de tránsito de Costa Rica (Hernández-Vega, Morales-Aguilar, Jiménez-Romero, Leiva-Villacorta, & y Loria-Salazar, 2016).

Informe LM-PI-USVT-003-15	Fecha de emisión: 29 de noviembre de 2016	Página 10 de 20
---------------------------	---	-----------------



El informe presenta los resultados de velocidades correspondientes a datos obtenidos de 13 estaciones permanentes de conteo de la Dirección de Planificación Sectorial del Ministerio de Obras Públicas y Transportes (MOPT). Estas estaciones están instaladas en diferentes puntos de la Red Vial Nacional. Se analizó la distribución de velocidades para cada estación y se comparó con la velocidad suministrada en los inventarios viales del MOPT, según las secciones de control donde se encuentra cada estación. Se utilizaron datos de velocidades de mínimo una semana para cada estación (con excepción de la estación de Matapalo, en la que se utilizaron datos de seis días) por lo que se obtuvo el comportamiento temporal por las clasificaciones de día de la semana y hora del día.

Se resumen los principales resultados obtenidos a partir de los datos en las diferentes estaciones.

- **Resultados según número de ejes:**

- Los vehículos de dos ejes poseen las mayores velocidades promedio (Cuadro 1) para todas las estaciones con excepción de la estación de Cañas.
- La velocidad promedio mayor es para los vehículos de dos ejes en la estación de Guápil (85,44 km/h) y la velocidad promedio menor para los vehículos de 5 o más ejes en la estación de Paso Canoas (30,88 km/h).
- En la mayoría de las estaciones (seis estaciones) los vehículos de cinco o más ejes son quienes poseen las menores velocidades promedio, seguido por los de cuatro ejes (cinco estaciones) y por último los de tres ejes (dos estaciones).
- En términos generales, la disminución de la velocidad promedio de acuerdo a los números de ejes es clara para todas las estaciones. Es decir, es de esperar que a mayor número de ejes menor velocidad promedio.
- Las velocidades promedio mayores pertenecientes a los vehículos de dos de ejes superan la velocidad tomada como referencia en todas las estaciones con excepción de Búfalo, Liberia y Paso Canoas.

Cuadro 1. Resumen de vehículos con velocidad promedio mayor y menor según el número de ejes para cada estación analizada

Estación	Velocidad de referencia (km/h)	Tipo de vehículo con mayor velocidad promedio		Tipo de vehículo con menor velocidad promedio	
		Tipo vehículo	Velocidad Promedio (km/h)	Tipo vehículo	Velocidad Promedio (km/h)
Búfalo	80	dos ejes	73,2	5 o más ejes	67,7
Cambronero	50	dos ejes	63,5	cuatro ejes	54,8
Cañas	75	tres ejes	81,4	cuatro ejes	73,1
Desmonte	45	dos ejes	53,1	tres ejes	50,2
Guápil	30	dos ejes	85,4	cuatro ejes	76,2
Juan Viñas	50	dos ejes	51,6	5 o más ejes	42,1
Liberia	80	dos ejes	73,3	5 o más ejes	67,0
Matapalo	30	dos ejes	73,8	5 o más ejes	61,0
Muelle	70	dos ejes	72,8	tres ejes	66,4
Paso Canoas	75	dos ejes	54,6	5 o más ejes	30,9
Río Chiquito	60	dos ejes	72,1	cuatro ejes	54,0
San Juanillo	45	dos ejes	59,6	cuatro ejes	51,1
Tempisque	80	dos ejes	84,6	5 o más ejes	73,1

Tomado de: Hernández-Vega, Morales-Aguilar, Jiménez-Romero, Leiva-Villacorta, y Loria-Salazar (2016)

- Para los vehículos de dos ejes, los vehículos *pick up* (F3) son quienes poseen las velocidades promedio mayores para la mayoría de las estaciones (seis estaciones), siguiéndoles las motocicletas (F1, cuatro estaciones), luego los autobuses (F4, dos estaciones) y únicamente para la estación de Muelle, los automóviles (F2) poseen las velocidades mayores (Ver Cuadro 2).

- Las velocidades menores promedio varían entre las motocicletas y los camiones de dos ejes en todas las estaciones: de las 13 estaciones analizadas, seis poseen los camiones de dos ejes como vehículos con velocidades promedio menores (F5) y las restantes a las motocicletas (F1). Las velocidades promedio mayores de los vehículos de dos ejes son mayores a la velocidad de referencia para todas las estaciones con excepción de las estaciones de Búfalo, Liberia y Paso Canoas.

- De acuerdo las velocidades según las clasificaciones de los vehículos de dos ejes, los *pick up* (F3) en la estación de Guápil poseen la velocidad promedio mayor (87,6 km/h). Por otro

lado, los camiones de dos ejes (F5) en la estación de Juan Viñas poseen la velocidad promedio menor (53,3 km/h).

Cuadro 2. Resumen de vehículos de dos ejes con velocidad promedio mayor y menor según el esquema F de clasificación de FHWA para cada estación analizada.

Estación	Velocidad de referencia (km/h)	Tipo de vehículo con mayor velocidad promedio		Tipo de vehículo con menor velocidad promedio	
		Tipo vehículo	Velocidad Promedio (km/h)	Tipo vehículo	Velocidad Promedio (km/h)
Búfalo	80	F3	75,5	F5	67,8
Cambronero	50	F3	66,2	F1	56,6
Cañas	75	F3	79,8	F1	66,7
Desmonte	45	F1	60,2	F5	46,7
Guápil	30	F3	87,6	F1	75,1
Juan Viñas	50	F1	53,3	F5	44,4
Liberia	80	F4	75,3	F1	70,1
Matapalo	30	F3	78,8	F1	58,0
Muelle	70	F2	73,5	F5	66,6
Paso Canoas	75	F3	57,3	F1	50,2
Río Chiquito	60	F1	74,2	F5	66,4
San Juanillo	45	F1	61,7	F5	54,2
Tempisque	80	F4	85,3	F1	75,4

Tomado de: Hernández-Vega, Morales-Aguilar, Jiménez-Romero, Leiva-Villacorta, y Loria-Salazar (2016)

- **Resultados según número de ejes:**

- Generalmente, el día de mayor velocidad promedio en las estaciones estudiadas es el domingo (seis estaciones) seguido por el sábado (tres estaciones), luego viernes (dos estaciones) y lunes y jueves con una estación cada uno. Puede concluirse que los fines de semana se presentan velocidades promedio mayores que en el resto de la semana en las estaciones.

- No se presenta ningún patrón con respecto al día con menor velocidad promedio en las estaciones. El viernes es el día más repetitivo (cinco estaciones) y puede retribuirse al final de la semana y aumento en la disponibilidad para recreación de los usuarios, por lo tanto aumento de la congestión.

- La velocidad promedio para los días con velocidades promedio mayores y menores supera la velocidad tomada como referencia en todas las estaciones con excepción de Búfalo, Liberia y Paso Canoas (Cuadro 3).

Cuadro 3. Día de mayor y menor velocidad promedio para cada estación en estudio,

Estación	Velocidad de referencia (km/h)	Día de mayor velocidad		Día de menor velocidad	
		Día	Velocidad Promedio (km/h)	Día	Velocidad Promedio (km/h)
Búfalo	80	Domingo	73,9	Martes	68,3
Cambronero	50	Domingo	62,5	Viernes	61,3
Cañas	75	Domingo	78,8	Viernes	76,1
Desmonte	45	Viernes	53,8	Domingo	52,8
Guápil	30	Lunes	85,8	Domingo	83,2
Juan Viñas	45	Sábado	52,1	Lunes	48,5
Liberia	80	Domingo	75,5	Viernes	71,9
Matapalo	30	Jueves	74,5	Viernes	65,5
Muelle	70	Domingo	74,9	Jueves	70,3
Paso Canoas	75	Viernes	61,3	Miércoles	43,7
Río Chiquito	60	Sábado	72,4	Viernes	70,4
San Juanillo	45	Sábado	52,6	Domingo y miércoles	50,8
Tempisque	80	Domingo	86,2	Miércoles	81,5

Tomado de: Hernández-Vega, Morales-Aguilar, Jiménez-Romero, Leiva-Villacorta, y Loria-Salazar (2016)

- Para la mayoría de las estaciones (nueve de trece estaciones) las horas de velocidad promedio mayor corresponden a la madrugada.
- Las estaciones de Guápil y Matapalo sin embargo tienen como horas de mayor velocidad las de la mañana (7:00 - 8:00 y 8:00 - 9:00 respectivamente).
- La estación Río Chiquito representa un cambio en el comportamiento de las demás debido que la hora de mayores velocidades es de cinco a seis de la tarde.
- La mayoría de las estaciones tienen como hora de velocidad promedio menor la tarde, generalmente en el momento de finalización de la jornada laboral (entre cinco de la tarde y siete de la noche).

- Otras estaciones poseen como hora de menor velocidades horas de la madrugada o mañana (Desmonte, Río Chiquito, San Juanillo y Tempisque), sin embargo, esto son casos aparte al comportamiento mayoritario de las estaciones analizadas.

- La velocidad promedio para la hora de mayor velocidad supera la velocidad tomada como referencia para todas las estaciones con excepción de las estaciones de Búfalo y Paso Canoas.

Cuadro 4. Hora de mayor y menor velocidad promedio para cada estación en estudio

Estación	Velocidad de referencia (km/h)	Hora de mayor velocidad		Hora de menor velocidad	
		Hora	Velocidad Promedio (km/h)	Hora	Velocidad Promedio (km/h)
Búfalo	80	1:00 - 2:00	79,2	19:00 - 20:00	62,7
Cambronero	50	5:00 - 6:00	66,6	17:00 - 18:00	57,9
Cañas	75	4:00 - 5:00	84,3	18:00 - 19:00	72,7
Desmonte	45	1:00 - 2:00	56,2	2:00 - 3:00	50,5
Guápil	30	7:00 - 8:00	89,1	18:00 - 19:00	78,2
Juan Viñas	45	22:00 - 23:00	52,5	18:00 - 19:00	47,0
Liberia	80	2:00 - 3:00	83,9	17:00 - 18:00	67,2
Matapalo	30	8:00 - 9:00	78,4	16:00 - 17:00	65,9
Muelle	70	0:00 - 1:00 y 6:00 - 7:00	75,0	18:00 - 19:00	66,4
Paso Canoas	75	0:00 - 1:00	66,1	18:00 - 19:00	47,1
Río Chiquito	60	17:00 - 18:00	73,3	2:00 - 3:00	67,4
San Juanillo	45	2:00 - 3:00	57,5	0:00 - 1:00	48,3
Tempisque	80	4:00 - 5:00	88,8	10:00 - 11:00	79,3

Tomado de: Hernández-Vega, Morales-Aguilar, Jiménez-Romero, Leiva-Villacorta, y Loria-Salazar (2016)

- De acuerdo al día de la semana se ven diferentes comportamientos de acuerdo a la estación.

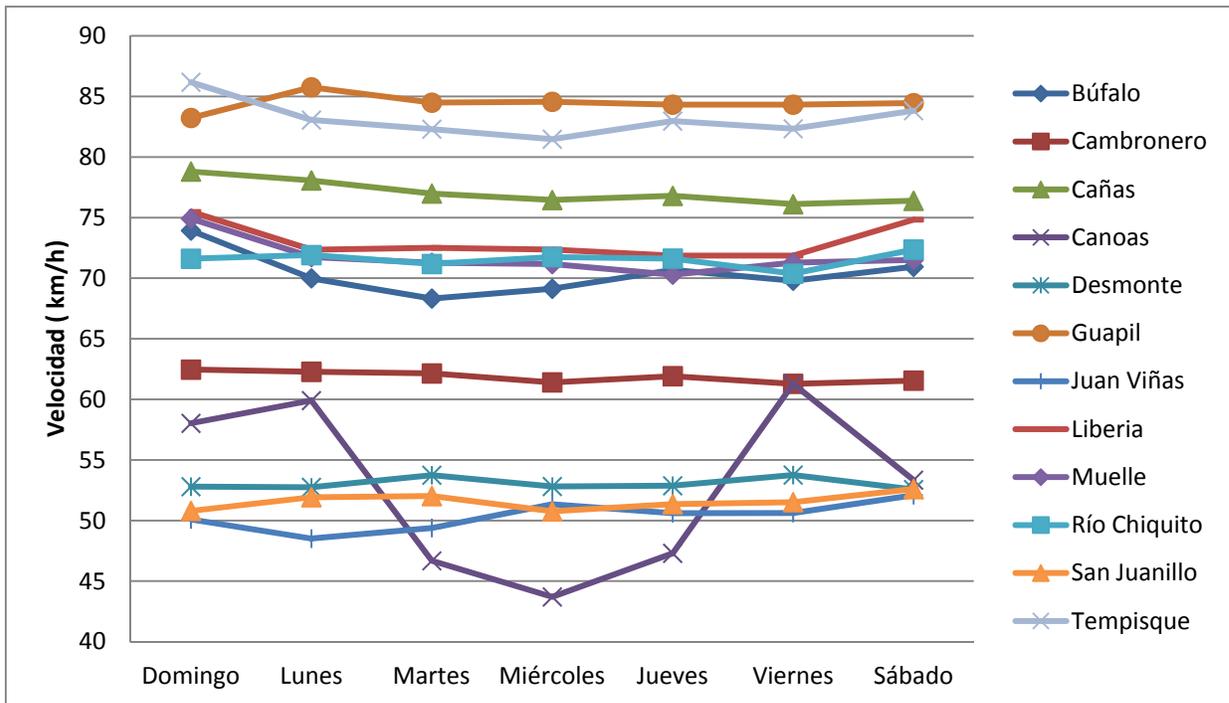


Figura 4. Distribución de velocidades promedio por día de la semana en las estaciones analizadas

Fuente: Autores, 2016

- Cinco estaciones presentan una distribución de velocidades promedio en la cual el día domingo tiene las mayores velocidades. En algunos casos, el sábado también presenta velocidades promedio mayores a los días entre semana (ver Figura 5).
- Las estaciones de Cambronero, Desmonte, Guápil, Río Chiquito, Juan Viñas y San Juanillo presentan patrones de velocidades que no presentan mayores velocidades promedio los días domingo (Figura 6).
- La estación de Canoas presenta grandes variaciones en sus velocidades promedio.

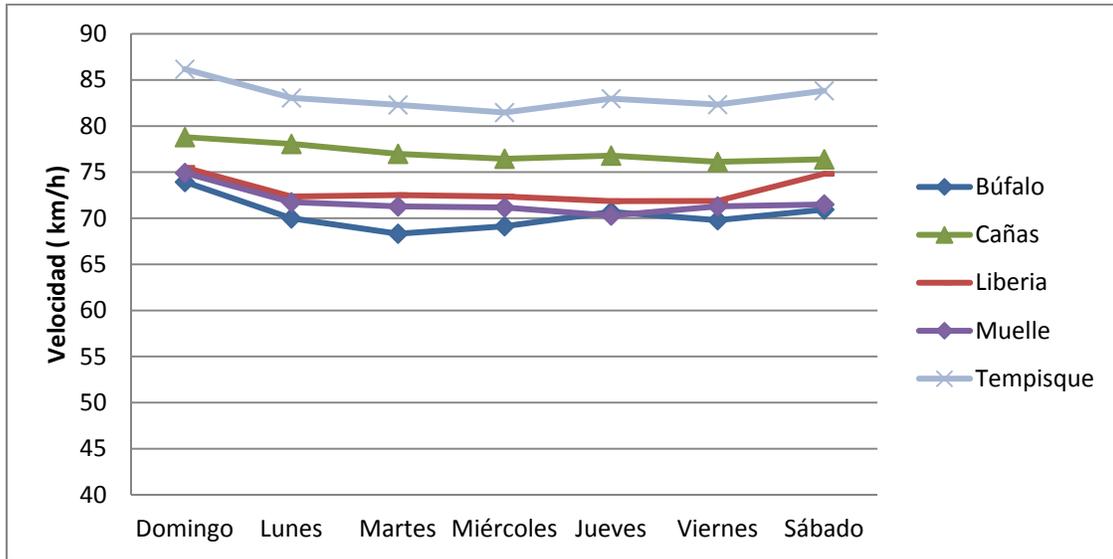


Figura 5. Distribución de velocidades promedio por día de la semana para estaciones con velocidades promedio más alta los días domingo.

Tomado de: Hernández-Vega, Morales-Aguilar, Jiménez-Romero, Leiva-Villacorta, y Loria-Salazar (2016)

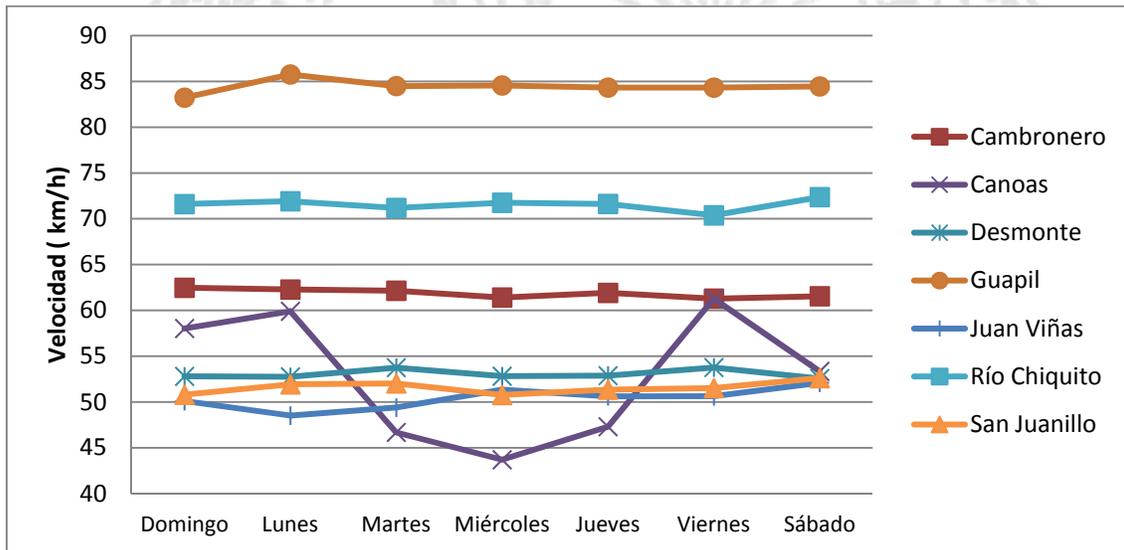


Figura 6. Distribución de velocidades promedio por día de la semana para estaciones donde el domingo no presenta mayores velocidades.

Tomado de: Hernández-Vega, Morales-Aguilar, Jiménez-Romero, Leiva-Villacorta, y Loria-Salazar (2016)

- La mayoría de las estaciones presentan una distribución de velocidades por hora del día similar.



- Las estaciones similares presentan altas velocidades en horas de la madrugada. En algunos casos presenta un pico de velocidad entre las seis y siete de la mañana, y a partir de esta hora comienza a disminuir la velocidad promedio hasta llegar a un punto de inflexión al medio día, posteriormente aumenta de nuevo hasta llegar a un nuevo punto de inflexión entre las cinco de la tarde y ocho de la noche para luego comenzar a aumentar nuevamente.
- Las estaciones de Canoas y Matapalo presentan patrones de velocidades por semana diferentes a las demás estaciones.

Además, el informe presenta las siguientes recomendaciones.

- Verificar en campo la velocidad tomada como referencia en cada estación para de esta manera determinar el porcentaje de vehículos que superan la velocidad máxima permitida y la velocidad temeraria (20 km/h mayor que la máxima permitida).
- En futuros estudios se podría incluir una descripción del tramo de calle como ancho de calzada, si hay o no espaldones, pendiente, entre otros que lleve a una clasificación por niveles de servicio (LOS) y una correlación con los datos obtenidos.
- Se podría realizar análisis estadísticos que reafirmen el incumplimiento o no de la velocidad límite.
- Es recomendable la aplicación de análisis de varianza para comparar resultados entre tratamientos, tipo de vehículo, velocidad de referencia (baja, media y alta), entre otros.
- Utilizar análisis estadístico en futuros estudios para confirmar el día de mayor y menor velocidad.
- Realizar futuras investigaciones con el fin de evaluar la incidencia de factores ambientales en las estaciones durante los días de medición, para comparar el comportamiento de los usuarios en los diferentes escenarios posibles en Costa Rica (lluvia, neblina, sol, noche, día).
- Separar los datos por sentido para futuras investigaciones, con el fin de comparar el flujo de velocidades en cada sentido en dependencia de la hora del día.



- Continuar realizando mediciones en las estaciones para obtener la evolución del comportamiento de los usuarios a través del tiempo y determinar la causa de algún posible cambio en el mismo.

6.5. Divulgación

Los resultados de la investigación de las distribuciones temporales del flujo vehicular, tanto para vehículos livianos y como pesados se presentaron en el Congreso Norteamericano de Monitoreo del Tráfico (NATMEC, por sus siglas en inglés) que es organizado por la Junta de Investigación del Transporte de los Estados Unidos de América. El congreso se llevó a cabo en el mes de mayo de 2016 en la ciudad de Miami, Florida. Una copia del programa se encuentra disponible en:

<http://onlinepubs.trb.org/onlinepubs/conferences/2016/NATMEC/Program.pdf>

La presentación se llevó a cabo durante la sesión de Análisis de datos de camiones de carga y durante la presentación se explicó acerca de la importancia de los datos de tráfico y del limitado conocimiento que existía en el país relacionada con el poco conocimiento de las variaciones temporales del tráfico. Se explicó el análisis de conglomerados utilizado para la generación de los grupos de patrones típicos para los diferentes tipos de vehículos. Se reportaron diferencias significativas en las variaciones temporales del tráfico en zonas urbanas respecto con las variaciones que se presentan en las zonas rurales. Además, se identificó un periodo valle entre las dos horas pico para el flujo de camiones articulados. Finalmente, se indicó que es necesaria una mejora del sistema de recopilación de la información en el país. Las diapositivas se encuentran disponibles en:

<http://onlinepubs.trb.org/onlinepubs/conferences/2016/NATMEC/Hernandez-VegaPPT.pdf>

Adicionalmente, los resultados presentados en el primer avance del proyecto de investigación se presentaron en el Congreso de Ingeniería Civil (CIC, 2016) durante el mes de setiembre de 2016. El artículo presentado resume los avances logrados en los temas de encuesta de carga, presión de inflado, desviación lateral de llanta, tránsito vehicular y patrones de velocidad. El artículo se encuentra disponible en el siguiente enlace:

<http://actividadescic.org/memoriacic2016/index.html>

Informe LM-PI-USVT-003-15	Fecha de emisión: 29 de noviembre de 2016	Página 19 de 20
---------------------------	---	-----------------



7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Allen, J. (2013). *Propuesta de línea de investigación: determinación de parámetros de carga para diseño estructural de pavimentos de Costa Rica*. Unidad de Materiales y Pavimentos. Programa de Infraestructura del Transporte Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales, Universidad de Costa Rica.

Allen, J., & Sibaja, J. (2014). Presión de inflado de los neumáticos y la forma en que afecta el desempeño de la estructura de pavimento. *Congreso de Ingeniería Civil (CIC, 2014)* (págs. 175-185). San José, Costa Rica: Colegio Ingenieros Civiles.

Arrieta, J. (2015). *Encuesta de carga en rutas nacionales no reguladas por estaciones de pesaje. Propuesta de Trabajo Final de Graduación*. San José: Escuela de Ingeniería Civil. Universidad de Costa Rica.

Hernandez-Vega, H., Jimenez-Romero, D., Aguiar-Moya, J. P., & Loria-Salazar, L. G. (2016). *Determinación de Parámetros de Carga para diseño estructural de Pavimentos en Costa Rica. Informe de Avance LM-PI-USVT-003-16*. San Pedro, Montes de Oca: Programa Infraestructura del Transporte. Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales. Universidad de Costa Rica.

Hernández-Vega, H., Morales-Aguilar, M., Jiménez-Romero, D., Leiva-Villacorta, F., & y Loria-Salazar, L. G. (2016). *Análisis descriptivo de patrones de velocidad a partir de datos de estaciones permanentes de monitoreo del tránsito de Costa Rica LM-PI-USVT-002-16*. San Pedro, Montes de Oca: Programa Infraestructura del Transporte (PITRA), Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales, Universidad de Costa Rica.

Morris, V. (2016). *Determinación del desplazamiento lateral de vehículos en carreteras urbanas de Costa Rica*. San Pedro, Montes de Oca.: Trabajo Final de Graduación. Escuela de Ingeniería Civil. Universidad de Costa Rica.